

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-111944
(43)Date of publication of application : 08.04.2004

(51)Int.CI. H01F 7/02
H01F 41/02

(21)Application number : 2003-302486 (71)Applicant : SHIN ETSU CHEM CO LTD
(22)Date of filing : 27.08.2003 (72)Inventor : SATO KOJI
KAWABATA MITSUO
MINOWA TAKEHISA

(30)Priority
Priority number : 2002250657 Priority date : 29.08.2002 Priority country : JP

(54) RADIAL ANISOTROPIC RING MAGNET AND MANUFACTURING METHOD OF THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a radial anisotropic ring magnet which has excellent magnetic characteristics and a manufacturing method of the same in which the ring magnet is formed by a horizontal magnetic field vertical forming method.

SOLUTION: The magnet is characterized in that the angle formed by the central axis of the ring magnet and the direction of imparting a radial anisotropy is in the range of 80° to 100° over the whole magnet.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.07.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-111944

(P2004-111944A)

(43) 公開日 平成16年4月8日(2004.4.8)

(51) Int.C1.⁷HO1F 7/02
HO1F 41/02

F 1

HO1F 7/02
HO1F 41/02

テーマコード(参考)

5E062

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2003-302486 (P2003-302486)	(71) 出願人	000002060 信越化学工業株式会社 東京都千代田区大手町二丁目6番1号
(22) 出願日	平成15年8月27日 (2003.8.27)	(74) 代理人	100079304 弁理士 小島 隆司
(31) 優先権主張番号	特願2002-250657 (P2002-250657)	(74) 代理人	100114513 弁理士 重松 沙織
(32) 優先日	平成14年8月29日 (2002.8.29)	(74) 代理人	100120721 弁理士 小林 克成
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	佐藤 孝治 福井県武生市北府2-1-5 信越化学工業株式会社磁性材料研究所内
		(72) 発明者	川端 光雄 福井県武生市北府2-1-5 信越化学工業株式会社武生工場内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ラジアル異方性リング磁石及びその製造方法

(57) 【要約】

【解決手段】 磁石全般にわたり、リング磁石の中心軸とラジアル異方性付与方向とのなす角度が80°以上100°以下であることを特徴とするラジアル異方性リング磁石。

【効果】 本発明によれば、加圧成形により磁気特性の良好なラジアル異方性リング磁石を提供し得る。

【選択図】 なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

磁石全般にわたり、リング磁石の中心軸とラジアル異方性付与方向とのなす角度が 80° 以上 100° 以下であることを特徴とするラジアル異方性リング磁石。

【請求項 2】

ラジアル異方性リング磁石におけるリング磁石中心軸との垂直面上において、ラジアル方向に対する磁石粉の平均配向度が 80% 以上であることを特徴とする請求項 1 に記載のラジアル異方性リング磁石。

【請求項 3】

リング磁石の中心軸方向の長さを内径で割った値が 0.5 以上であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のラジアル異方性リング磁石。 10

【請求項 4】

円筒磁石用成形金型のコアの少なくとも一部の材質に飽和磁束密度 5 kG 以上を有する強磁性体を用い、金型キャビティ内に充填した磁石粉を水平磁場垂直成形法により磁石粉に配向磁界を印加して成形することにより、ラジアル異方性リング磁石を製造する方法であって、下記 (i) ~ (v)

(i) 磁場印加中、磁石粉を金型周方向に所定角度回転させる、

(i i) 磁場印加後、磁石粉を金型周方向に所定角度回転させ、その後再び磁場を印加する、

(i i i) 磁場印加中、磁場発生コイルを磁石粉に対し金型周方向に所定角度回転させる、

(i v) 磁場印加後、磁場発生コイルを磁石粉に対し金型周方向に所定角度回転させ、その後再び磁場を印加する、

(v) 複数のコイル対を用い、1つのコイル対に磁場印加した後、他のコイル対に磁場を印加する

の操作のうち少なくとも一の操作を行い、磁石粉に対し一方向よりも多くの方向から磁場を印加して、加圧成形で製造され、磁石全般にわたりリング磁石の中心軸とラジアル異方性付与方向とのなす角度が 80° 以上 100° 以下であるラジアル異方性リング磁石を得ることを特徴とするラジアル異方性リング磁石の製造方法。 20

【請求項 5】

充填磁石粉を回転させる際、コア、ダイス及びパンチのうち少なくとも 1 つを周方向に回転させることで充填磁石粉を回転せしめることを特徴とする請求項 4 記載のラジアル異方性リング磁石の製造方法。 30

【請求項 6】

磁場印加後充填磁石粉を回転させる際、強磁性コア及び磁石粉の残留磁化の値が 50 G 以上であり、コアを周方向に回転させることで磁石粉を回転せしめることを特徴とする請求項 4 記載のラジアル異方性リング磁石の製造方法。

【請求項 7】

水平磁場垂直成形工程で発生する磁場が 0.5 ~ 10 kOe であることを特徴とする請求項 4 乃至 6 のいずれか 1 項記載のラジアル異方性リング磁石の製造方法。 40

【請求項 8】

成形直前又は成形中の水平磁場垂直成形装置で発生する磁場が 0.5 ~ 3 kOe であることを特徴とする請求項 4 乃至 7 のいずれか 1 項記載のラジアル異方性リング磁石の製造方法。

【請求項 9】

1 回又は複数回の磁場印加後、コイルよりの発生磁場を 0 ~ 0.5 kOe 未満にした状態で磁石粉を $60 \sim 120^\circ + n \times 180^\circ$ (n は 0 以上の整数) で回転させ、更にその前に印加した磁場の $1/20 \sim 1/3$ の大きさの磁場を印加し、印加後又は印加中成形することを特徴とする請求項 4 乃至 8 のいずれか 1 項記載のラジアル異方性リング磁石の製造方法。 50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ラジアル異方性リング磁石及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

フェライトや希土類合金のような結晶磁気異方性材料を粉碎し、特定の磁場中でプレス成形を行い作製される異方性磁石は、スピーカ、モータ、計測器、その他の電気機器等に広く使用されている。このうち特にラジアル方向に異方性を有する磁石は、磁気特性に優れ、自由な着磁が可能であり、またセグメント磁石のような磁石固定用の補強の必要もないため、ACサーボモータ、DCブラシレスモータ等に使用されている。特に近年はモータの高性能化にともない、長尺のラジアル異方性磁石が求められてきた。

10

【0003】

ラジアル配向を有する磁石は垂直磁場垂直成形法又は後方押し出し法により製造される。垂直磁場垂直成形法は、プレス方向より、コアを介して磁場を対向方向から印加し、ラジアル配向を得ることを特徴とするものである。即ち、垂直磁場垂直成形法は、図1に示されるように、配向磁場コイル2において発生させた磁場をコア4及び5を介して対向させ、コアよりダイス3を通過し、成形機架台1を経て循環するような磁気回路にて、充填磁石粉8をラジアル配向させるものである。なお、図中6は上パンチ、7は下パンチである。

20

【0004】

このように、この垂直磁場垂直成形装置において、コイルにより発生した磁界はコア、ダイス成形機架台、コアとなる磁路を形成させている。この場合、磁場漏洩損失低下のため、磁路を形成する部分の材料には強磁性体を用い、主に鉄系金属が使われる。しかし、磁石粉を配向させるための磁場強度は、以下のようにして決まってしまう。コア径をB(磁石粉充填内径)、ダイス径をA(磁石粉充填外径)、磁石粉充填高さをLとする。上下コアを通過した磁束がコア中央でぶつかり対向し、ダイスに至る。コアを通った磁束量はコアの飽和磁束密度で決定され、鉄製コアで磁束密度が20kG程度である。従って磁石粉充填内外径での配向磁場は、上下コアの通った磁束量を磁石粉充填部の内面積及び外面積で割ったものとなり、

$$2 \cdot \pi \cdot (B/2)^2 \cdot 20 / (\pi \cdot B \cdot L) = 10 \cdot B/L \quad \cdots \text{内周},$$

$$2 \cdot \pi \cdot (B/2)^2 \cdot 20 / (\pi \cdot A \cdot L) = 10 \cdot B^2 / (A \cdot L) \quad \cdots \text{外周}$$

30

となる。外周での磁場は内周より小さいので、磁石粉の充填部すべてにおいて良好な配向を得るには、外周で10kOe以上必要であり、このため、 $10 \cdot B^2 / (A \cdot L) = 10$ となり、従って、 $L = B^2 / A$ となる。成形体高さは充填粉の高さの約半分で、焼結時、更に8割程度になるので、磁石の高さは非常に小さくなる。このようにコアの飽和が配向磁界の強度を決定するためコア形状により配向可能な磁石の大きさ即ち高さが決まってしまい、円筒軸方向に長尺品を製造することが困難であった。特に、径が小さな円筒磁石では非常に短尺品しか製造することができなかった。

40

【0005】

また、後方押し出し法は設備が大掛かりで、歩留まりが悪く、安価な磁石を製造することが困難であった。

【0006】

このようにラジアル異方性磁石は、いかなる方法においても製造が困難であり、安く大量に製造することは難しく、ラジアル異方性磁石を用いたモータも非常にコストが高くなってしまうという不利があった。

【0007】

【特許文献1】特開平2-281721号公報

【特許文献2】特開平10-55929号公報

【発明の開示】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

近年、ユーザーからの材料並びに組み立て時のコストダウンの要請が強く、ラジアル異方性リング磁石においても、生産性及び組み立て性の向上が急務である。加えて、小型化、省力化から高性能化が望まれている。このようなユーザーの要求を満たすためには、長尺のラジアル異方性リング磁石が好ましいとされている（長尺品は内径くし寸のものをいう）。

【0009】

長尺品は組み立てコストが削減できるが、短尺品では複数個の段積みを行う際、以下の問題が生じる。即ち、磁石とモータコアは接着剤及び磁石と強磁性モータコアの磁気的な吸引力により接合されている。しかし、接着剤が剥がれた際に、磁石同士の吸引力が磁石とコアの吸引力よりも強く、N極とS極がくっついてしまう。これによりモータの役割をなさなくなる。また、剥がれてい状態においても、磁極のNとSがくっつこうとする力により、接着剤にはせん断応力が働き、剥がれ易くなる。これに対し、一体物では上記のようなことが起こらず、仮に、接着剤が剥がれても、強磁性体であるモータコアと磁気的な力により引き合うため分離することがない。

10

【0010】

しかし、ラジアル異方性リング磁石の成形においては、図1に示される垂直磁場垂直成形法により成形がなされるが、このような通常の方法では、短尺ものしか製造できなかつた。この場合、長尺一体物のラジアル磁石の製造法として、特開平2-281721号公報に提案がある。即ち、特開平2-281721号公報では、キャビティに充填された原料粉を配向及び加圧成形した成形体を、ダイス非磁性部に移し、その後できたダイス内磁性部分のキャビティに原料粉を充填し加圧成形し、更に得られた成形体を下方に移し、給粉、加圧成形を任意回数繰り返し、リング軸方向の寸法L（以下、L寸と呼ぶ）の大なる成形体を得る成形方法（以下、多段成形法という）を提案している。

20

【0011】

この多段成形法によると、Lの大きなラジアル異方性リング磁石を製造することができる。しかし、この方法は給粉、成形を繰り返し行い、接合部が発生し、1つの多層な成形体を製造するので成形時間が長く、量産に適さないばかりか、成形体を成形する際の荷重が一定であるため、成形体密度が等しい焼結体において、成形体の接合面に亀裂が発生し易いという問題があった。この点の改善に関しては、特開平10-55929号公報に提案がある。即ち、特開平10-55929号公報では、多段成形時の成形体密度をNd-Fe-B系磁石において 3.1 g/cm^3 以上とし、最終成形により（最終成形によりできた成形体を最終成形体と呼ぶ）、それまでの成形体（予備成形体という）より 0.2 g/cm^3 以上高い密度の成形体密度となるよう成形することで、成形体の接合面に発生する亀裂を軽減する提案がなされている。

30

【0012】

しかし、該方法では圧力制御を厳密に行わなければならず、また、磁石粉の粒度及び粒度分布、バインダーの種類や量により磁石粉の状態は大きく異なり、最適圧力がその都度異なるため条件設定が難しい。加えて予備成形体密度が低いと2回目以降の磁場の影響を受けて磁気特性が悪く、最終成形体密度が低いと接合面に亀裂が発生し、最終成形体密度が高すぎると最終成形時に配向の乱れを生じてしまうため、特性と歩留まりを兼ね備えた長尺ラジアル異方性リング磁石の製造はきわめて困難であった。

40

【0013】

本発明は上記事情に鑑みなされたもので、磁気特性の良好なラジアル異方性リング磁石、及び水平磁場垂直成形法による該ラジアル異方性リング磁石の製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明は、上記目的を達成するため、下記のラジアル異方性リング磁石及びその製造方

50

法を提供する。

(1) 磁石全般にわたり、リング磁石の中心軸とラジアル異方性付与方向とのなす角度が 80° 以上 100° 以下であることを特徴とするラジアル異方性リング磁石。

(2) ラジアル異方性リング磁石におけるリング磁石中心軸との垂直面上において、ラジアル方向に対する磁石粉の平均配向度が 80% 以上であることを特徴とする (1) のラジアル異方性リング磁石。

(3) リング磁石の中心軸方向の長さを内径で割った値が 0.5 以上であることを特徴とする (1) 又は (2) のラジアル異方性リング磁石。

(4) 円筒磁石用成形金型のコアの少なくとも一部の材質に飽和磁束密度 5 kG 以上を有する強磁性体を用い、金型キャビティ内に充填した磁石粉を水平磁場垂直成形法により磁石粉に配向磁界を印加して成形することにより、ラジアル異方性リング磁石を製造する方法であって、下記 (i) ~ (v)

(i) 磁場印加中、磁石粉を金型周方向に所定角度回転させる、

(ii) 磁場印加後、磁石粉を金型周方向に所定角度回転させ、その後再び磁場を印加する、

(iii) 磁場印加中、磁場発生コイルを磁石粉に対し金型周方向に所定角度回転させる、

(iv) 磁場印加後、磁場発生コイルを磁石粉に対し金型周方向に所定角度回転させ、その後再び磁場を印加する、

(v) 複数のコイル対を用い、1つのコイル対に磁場印加した後、他のコイル対に磁場を印加する

の操作のうち少なくとも一の操作を行い、磁石粉に対し一方向よりも多くの方向から磁場を印加して、加圧成形で製造され、磁石全般にわたりリング磁石の中心軸とラジアル異方性付与方向とのなす角度が 80° 以上 100° 以下であるラジアル異方性リング磁石を得ることを特徴とするラジアル異方性リング磁石の製造方法。

(5) 充填磁石粉を回転させる際、コア、ダイス及びパンチのうち少なくとも 1 つを周方向に回転することで充填磁石粉を回転せしめることを特徴とする (4) のラジアル異方性リング磁石の製造方法。

(6) 磁場印加後充填磁石粉を回転させる際、強磁性コア及び磁石粉の残留磁化の値が 50 G 以上であり、コアを周方向に回転することで磁石粉を回転せしめることを特徴とする (4) のラジアル異方性リング磁石の製造方法。

(7) 水平磁場垂直成形工程で発生する磁場が 0.5 ~ 10 kOe であることを特徴とする (4) ~ (6) のラジアル異方性リング磁石の製造方法。

(8) 成形直前又は成形中の水平磁場垂直成形装置で発生する磁場が 0.5 ~ 3 kOe であることを特徴とする (4) ~ (7) のラジアル異方性リング磁石の製造方法。

(9) 1 回又は複数回の磁場印加後、コイルよりの発生磁場を 0 ~ 0.5 kOe 未満にした状態で磁石粉を 60 ~ 120° + n × 180° (n は 0 以上の整数) で回転させ、更にその前に印加した磁場の 1/20 ~ 1/3 の大きさの磁場を印加し、印加後又は印加中成形することを特徴とする (4) ~ (8) のラジアル異方性リング磁石の製造方法。

【0015】

本発明によれば、性能に優れ、組み立て作業性がよいラジアル異方性リング磁石を廉価で大量に供給することができる。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、磁気特性の良好なラジアル異方性リング磁石を提供し得る。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

以下、本発明につき更に詳しく説明する。なお、以下では、主として Nd - Fe - B 系の円筒焼結磁石について説明するが、フェライト磁石、Sm - Co 系希土類磁石及び各種ボンド磁石等の製造においても有効であり、Nd - Fe - B 系磁石に限るものではない。

【0018】

本発明のラジアル異方性リング磁石は、好ましくは成形直前に磁場を変位させ、加圧成形により製造され、かつ、磁石全般にわたり、図2に示したように、リング磁石の中心軸とラジアル異方性付与方向とのなす角度が80°以上100°以下である。この場合、リング磁石中心軸との垂直面上において、ラジアル方向に対する磁石粉の平均配向度が80%以上であることが好ましく、またリング磁石の中心軸方向の長さを内径で割った値が0.5以上であることが好ましい。

【0019】

リング磁石中心軸とラジアル異方性付与方向とのなす角が80°以上100°以下の範囲から外れるに従い、ラジアル異方性リング磁石から生じる磁束量の余弦成分のみしか回転力に寄与しなくなり、モータトルクが小さくなるので、リング磁石中心軸とラジアル異方性付与方向とのなす角を80°以上100°以下にする。加えて、ラジアルリング磁石の実用の多くは、ACサーボモータ、DCブラシレスモータ等であるが、モータにラジアル異方性リング磁石が使われる際、コギング対策として磁石又はステータにスキーを施す。リング磁石中心軸とラジアル異方性付与方向とのなす角が80°～100°から外れる角度であると、スキーの効果が軽減されてしまう。特に、ラジアル異方性リング磁石のL寸方向の端部でリング磁石中心軸とラジアル異方性付与方向とのなす角が80°～100°からのずれが大きい場合、この傾向が顕著となる。スキーが施されている場合、端部と中央部で逆の極になる部分があり、N極とS極の磁束量の比がリニアに徐々に変わっていくことによりコギングを低減する。しかし、端部でリング磁石中心軸とラジアル異方性付与方向とのなす角が80°～100°からのずれが大きく、中央部と逆極の端部磁束量が小さくなる。

10

20

30

【0020】

このように端部で特にずれが大きい磁石は、以下の製造方法の場合生じる。即ち、従来、ラジアル異方性リング磁石の成形においては、図1に示される垂直磁場垂直成形法により成形がなされるが、通常の方法では、先にも述べたが短尺のものしか製造できない。多段成形法では接合面より剥がれが生じ、磁極の乱れが生じるほか、分断されたり、剥がれ面に表面処理ができず、腐食の原因となる。図1で垂直磁場垂直成形プレスにより配向を行う際、長尺化を行うためにコアの飽和磁化以上の磁場を印加すると、コアの飽和後は上パンチの磁場コイルと下パンチの磁場コイルからの磁力線が、コアを介さずに対向してぶつかり、ラジアル方向に磁場が発生するものの、コアの中心線とラジアル異方性付与方向とのなす角が80°～100°から大きく逸脱し、この傾向は上下パンチ付近で大きくなる。このためリング磁石中心軸とラジアル異方性付与方向とのなす角が磁石端部で小さくなり、この方法はラジアルリング磁石の製造には適さない。

【0021】

従って、磁石全般にわたり、リング磁石の中心軸とラジアル異方性付与方向とのなす角度が80°以上100°以下であることが必要である。

更に、磁石の配向度fは以下の式で算出される。

$$f = B_r / [I_s \times \{ \rho / \rho_0 \times (1 - \alpha) \}^{2/3}]$$

B_r：残留磁束密度

I_s：飽和磁化

ρ ：焼結体密度

ρ_0 ：理論密度

α ：非磁性相の体積率

40

【0022】

配向度が低いと、磁石より発生する磁束量が少なくなり、モータトルクが小さくなり、また、そればかりか着磁性が損なわれるおそれがあり、モータの着磁の際には、モータのロータを使っての着磁が多く、着磁性の低下は大きな問題となる場合がある。従って、ラジアル異方性リング磁石では、磁石粉の平均配向度は80%以上であることが好ましく、より好ましくは80°～100%である。

50

【0023】

また、組み立て作業性を考慮すると、リング磁石の中心方向の長さをリング磁石の内径で割った値（L寸／磁石内径）は0.5以上、好ましくは0.5～5.0とするよい。

【0024】

このようなラジアルリング磁石の製造方法は以下の水平磁場垂直成形法を採用することが好ましい。ここで、図3は、円筒磁石の成形時、磁場中配向を行うための水平磁場垂直成形装置の説明図であり、特にモータ用磁石の水平磁場垂直成形機である。ここで、図1の場合と同様、1は成形機架台、2は配向磁場コイル、3はダイスを示し、また5aはコアを示す。6は上パンチ、7は下パンチ、8は充填磁石粉であり、また9はポールピースを示す。

10

【0025】

本発明においては、上記コア5aの少なくとも一部、好ましくは全体を飽和磁束密度5kG以上、好ましくは5～24kG、更に好ましくは10～24kGの強磁性体にて形成する。かかるコア材質としては、Fe系材料、Co系材料及びそれらの合金材料等の素材を用いた強磁性体が挙げられる。

20

【0026】

このように、飽和磁束密度5kG以上を有する強磁性体をコアに使用すると、磁石粉に配向磁界を印加する場合、磁束は強磁性体に垂直に入ろうとするためラジアルに近い磁力線を描く。従って、図4aに示されるように、磁石粉充填部の磁界方向をラジアル配向に近づけることができる。これに対し、従来はコア5b全体を非磁性又は磁石粉と同等の飽和磁束密度を有した材料を用いており、この場合、磁力線は図4bに示したように、互いに平行で、図において中央付近はラジアル方向であるが、上側及び下側に向うにつれてコイルによる配向磁場方向となる。コアを強磁性体で形成してもコアの飽和磁束密度が5kG未満の場合、コアは容易に飽和してしまい、強磁性コアを用いたにもかかわらず、磁場は図4bに近い状態となる。加えて、5kG未満では充填磁石粉の飽和密度（磁石の飽和磁束密度×充填率）と等しくなり、充填磁石粉及び強磁性コア内の磁束の方向はコイルの磁界方向に等しくなってしまう。

30

【0027】

また、コアの一部に5kG以上の強磁性体を用いた際も上記と同様な効果が得られ有効であるが、全体が強磁性体であることが好ましい。

【0028】

ただ、コア材質を単に強磁性体にて形成するだけでは、コイルによる配向磁場方向に対し垂直方向近傍方向でラジアル配向とならない。磁場中に強磁性体がある場合、磁束は強磁性体に垂直に入ろうとし強磁性体に引き寄せられるため、強磁性体の磁場方向面では磁束密度が上昇し、垂直方向では磁束密度が低下する。このため、金型内に強磁性体コアを配した場合、充填磁石粉において強磁性体コアの磁場方向部では強い磁場により良好な配向が得られ、垂直方向部ではあまり配向しない。これを補うために磁石粉をコイルによる発生磁場に対し、印加中又は印加後、相対的に回転させ、不完全配向部を磁場方向の強い磁場部で磁場を変化させて再度配向することで、良好な磁石が得られる。より好ましくは印加後又は最初に印加した磁場の1/3以下の磁場中に相対的に回転させるとよい。なお、ここではじめに配向した部分に関しては、その後の配向時に垂直方向部となることがあり得るが、この部分の磁束密度は小さいので、最初の良好な配向はあまり乱されない。

40

【0029】

ここで、磁石粉をコイルによる発生磁場に対し、相対的に回転させる方法としては、下記(i)～(v)

- (i) 磁場印加中、磁石粉を金型周方向に所定角度回転させる、
- (ii) 磁場印加後、磁石粉を金型周方向に所定角度回転させ、その後再び磁場を印加する、
- (iii) 磁場印加中、磁場発生コイルを磁石粉に対し金型周方向に所定角度回転させる、

50

(i v) 磁場印加後、磁場発生コイルを磁石粉に対し金型周方向に所定角度回転させ、その後再び磁場を印加する、

(v) 複数のコイル対を用い、1つのコイル対に磁場印加した後、他のコイル対に磁場を印加する

の操作のうち少なくとも一の操作を1回又は繰り返して磁場を変化させて複数回行うものである。

【0030】

なお、充填磁石粉の回転については、図5で示すように磁石粉をコイルによる発生磁場方向に対し、相対的に回転できれば、配向磁場コイル2、コア5a、ダイス3、上下パンチ6、7のいずれかを回転させてもよい。このうち特に、磁場印加後、充填磁石粉を回転させる際、強磁性コア及び磁石粉の残留磁化を50G以上、好ましくは100G以上存在させておけば、磁石粉は強磁性コアとの間に磁気的な吸引力が発生するため、強磁性コアを回転させるだけで磁石粉も回転させることができる。

【0031】

複数のコイル対を用い一方に磁場印加後、他方に磁場印加させても、磁場方向と磁石粉を相対的に回転させたのと同義であるため、この方法を用いても同様な効果が得られる。

【0032】

成形直前の磁場印加前の回転においては、回転後の印加磁場が小さいため、回転中に大きな磁場が印加されると最後の磁場印加の効果が現れなくなる。従って回転中の磁場は、0~0.5kOeが好ましい。より好ましくは0.3kOe以下で、典型的には無磁場が好ましい。回転角度については回転前の磁場印加により乱された部位は回転前の磁場方向に対し垂直方向であるので、この部位の乱れを改善するために回転角度は、好ましくは60~120°+n×180°(nは0以上の整数)、より好ましくは90°+n×180°(nは0以上の整数)±10°。典型的には90°+n×180°(nは0以上の整数)。印加磁場強度は、回転前の磁場強度が、強いと磁場方向に対し垂直方向でのラジアル配向からの乱れが大きいので、回転後の磁場強度も回転前の磁場が弱い場合よりも大きくなれば、配向の乱れは改善されず、大きすぎると磁場方向の垂直方向にラジアル配向からの乱れが発生してしまうため、磁場は回転前に印加した磁場の1/20~1/3。より好ましくは1/10~1/3にすることがよい。

【0033】

ここで、水平磁場垂直成形装置で発生する磁場が大きい場合、図4aの5aのコアが飽和してしまい、図4bに近い状態になり、配向磁界が径方向配向に近くなり、ラジアル配向とならなくなるため、磁場は10kOe以下にすることが好ましい。強磁性コアを用いると磁束がコアに集中するため、コア周辺では、コイルによる磁場より大きな磁場が得られる。しかし、磁場があまり小さいとコア周辺においても配向に十分な磁場が得られなくなるため、0.5kOe以上が好ましい。前述のように強磁性体周辺では磁束が集まり、磁場が大きくなるため、ここで言う水平磁場垂直成形装置で発生する磁場とは、強磁性体から十分に離れた場所における磁場、又は、強磁性コアを取り除いて測定したときの磁場の値を意味する。

【0034】

磁石粉をコイルによる発生磁場方向に対し相対的に回転させ、不完全配向部を磁場方向の強い磁場より再度配向することができ、はじめに配向した部分に関しては、その後の配向時に垂直方向部となることがあり得るが、この部分の磁束密度は小さいので、最初の良好な配向はあまり乱されないことを説明したが、発生磁場が比較的大きいとき、部分的な乱れが生じる場合がある。このような場合は、成形直前、磁場をかけない状態で、コイル磁場に対し、相対的に90°程度磁石粉を回転させた後、成形時より低い磁場、好ましくは0.5~3kOeの磁場を印加し、成形することにより、磁場方向のみ再配向でき、より完全なラジアル配向が得られる。成形前の水平磁場垂直成形装置で発生する磁場が3kOeを超えると、前述のようにこれ以上大きな磁場を印加すると良好な配向をすでに得られている部分に不必要的磁場がかかることため好ましくなく、0.5kOe未満では、

磁場が弱すぎて配向が改善されないため、0.5～3 kOeとすることが好ましい。

更に、本発明では、数回にわたり配向させるとよいが、多段階で磁場を下げていくことが好ましい。特に3回にわたり配向させることが好ましい。5回までにした方が特性の点から好ましい。

【0035】

本発明は、上記のように成形するものであるが、それ以外は通常の水平磁場垂直成形法により磁石粉に配向磁界を印加して、50～2000 kgf/cm²の加圧範囲で成形し、更に不活性ガス下で1000～1200℃で焼結し、必要により時効処理、加工処理等を施し、焼結磁石を得ることができる。ここで、本発明においては、1回の給粉、1回の加圧で所用軸長の磁石を得ることができるが、複数回の加圧により磁石を得るようにしてよい。

10

【0036】

なお、磁石粉としては、特に制限されるものではなく、Nd-Fe-B系の円筒磁石を製造する場合に好適であるほか、フェライト磁石、Sm-Co系希土類磁石、各種ボンド磁石等の製造においても有効であるが、いずれも平均粒径0.1～10 μm、特に1～8 μmの合金粉を用いて成形することができる。

【実施例】

【0037】

以下、実施例と比較例を示し、本発明を具体的に説明するが、本発明は下記の実施例に制限されるものではない。

20

【実施例、比較例】

【0038】

それぞれ純度99.7重量%のNd、Dy、Fe、Co、M(MはAl、Si、Cu)と純度99.5重量%のBを用い、真空溶解炉で溶解鋳造してNd₂Fe₁₄B系磁石合金(Nd_{31.5}Dy₂Fe₆₂Co₃B₁Cu_{0.2}Al_{0.3}Si₁(重量%))インゴットを作製した。このインゴットをジョウクラッシャーで粗粉碎し、更に窒素気流中ジェットミル粉碎により平均粒径3.5 μmの微粉末を得た。この粉末を飽和磁束密度20 kGの強磁性体コア(S50C)を配置し、図3の水平磁場垂直成形装置にて成形を行った。

【0039】

実施例1として、コイルの発生磁場4 kOeの磁場中において配向させた後、コイルを90°回転させ、1 kOeの配向磁場を付与し、500 kgf/cm²の成形圧にて成形した。この際の金型形状はφ30 mm × φ17 mm、キャビティ60 mm、磁石粉の充填率33%であった。成形体はArガス中1090℃で1時間焼結を行い、引き続き490℃で1時間の熱処理を行った。このようにして得られたラジアル磁石φ26 mm × φ19 mm × L27 mm(L寸/内径=1.4)で、磁石中央部磁場方向から2mm角の磁石を切り出し、VSMにて磁気測定を行ったところ、Br: 12.1 kG、iHc: 15 kOe、配向度89%であった。また、リング磁石の中心軸とラジアル異方性付与方向とのなす角度がLの中心で87°、上3 mmでは91°、下3 mmでは89°であった。

30

【0040】

実施例2として、実施例1と同様な金型及び磁石粉を用い、磁石粉充填率32%、コイルの発生磁場4 kOeの磁場中において配向させた後、ダイスとコア及びパンチを90°回転させ、1.5 kOeの配向磁場を付与し、500 kgf/cm²の成形圧にて成形した。成形体はArガス中1090℃で1時間焼結を行い、引き続き490℃で1時間の熱処理を行った。このようにして得られたラジアル磁石φ26 mm × φ19 mm × L27 mm(L寸/内径=1.4)で、磁石中央部磁場方向から2mm角の磁石を切り出し、VSMにて磁気測定を行ったところ、Br: 12.0 kG、iHc: 15 kOe、配向度88%であった。

40

【0041】

実施例3として、実施例1と同様な金型及び磁石粉を用い、磁石粉充填率32%とし、コイルの発生磁場4.5 kOeの磁場中において配向させた後、先端部の残留磁化が0.

50

2 kG のコアを 90° 回転させた。このときの磁石粉の残留磁化は 600 G であった。その後 0.7 kOe の配向磁場を付与し、500 kgf/cm² の成形圧にて成形した。成形体は Ar ガス中 1090°C で 1 時間焼結を行い、引き続き 490°C で 1 時間の熱処理を行った。このようにして得られたラジアル磁石 $\phi 26\text{ mm} \times \phi 19\text{ mm} \times L 27\text{ mm}$ (L 寸/内径 = 1.4) で、磁石中央部磁場方向から 2 mm 角の磁石を切り出し、VSM にて磁気測定を行ったところ、Br : 11.9 kG、iHc : 15 kOe、配向度 87% であった。

【0042】

実施例 1, 2, 3 の磁石は、その後加工を行い、 $\phi 25\text{ mm} \times \phi 20\text{ mm} \times L 25\text{ mm}$ の円筒磁石とした。

10

【0043】

上記の円筒磁石を図 6 に示す着磁機にて 6 極、20° でスキー着磁し、着磁後の磁石を磁石と同一高さの図 7 に示す構成のステータ内に組み込んだモータを作製した。

ここで、11 は円筒磁石、20 は着磁機、21 は着磁機磁極歯、22 は着磁機コイル、30 は 3 相モータ、31 はステータ歯、32 はコイルである。

【0044】

実施例 1 のモータを 5000 rpm で回転させた際の誘起電圧及び同モータを 5 rpm で回転させた際の荷重計によるトルクリップルの大きさを測定した。その他の実施例においても同様に測定した。表 1 に誘起電圧の絶対値の最大及びトルクリップルの最大最小の差を示す。

20

【0045】

実施例 4 として、実施例 1 と同じコイルを回転させることができる水平磁場垂直成形装置を用い、10 kOe の磁場中において 90° 回転させながら配向を行い、その後、無磁場で 90° 回転させた後で 1.5 kOe の磁場中で再び配向させながら 500 kgf/cm² の成形圧にて成形した。成形体は Ar ガス中 1090°C で 1 時間焼結を行い、引き続き 490°C で 1 時間の熱処理を行った。このようにして得られたラジアル磁石 $\phi 26\text{ mm} \times \phi 19\text{ mm} \times L 27\text{ mm}$ (L 寸/内径 = 1.4) で、磁石中央部磁場方向から 2 mm 角の磁石を切り出し、VSM にて磁気測定を行ったところ、Br : 12.0 kG、iHc : 15 kOe、配向度 88% であった。実施例 1 と同一形状に磁石を加工し、モータ特性を測定した。

30

【0046】

比較例 1 として、金型形状及びコア材質は実施例 1 と同じとし、ダイス材質は飽和磁束密度 15 kG の SKD11 材を用いた垂直磁場垂直成形装置を使い、磁石粉の充填率は 33% として、上下のコイルより 30 kOe のパルス磁場を対向するように印加した。その後 500 kgf/cm² の成形圧にて成形した。成形体は Ar ガス中 1090°C で 1 時間焼結を行い、引き続き 490°C で 1 時間の熱処理を行った。このようにして得られたラジアル磁石は、上下部 $\phi 27\text{ mm} \times \phi 19.5\text{ mm}$ 、中央部 $\phi 26\text{ mm} \times \phi 18.7\text{ mm} \times L 27\text{ mm}$ で、平均の L 寸/内径 = 1.35 で、磁石中央部磁場方向から 2 mm 角の磁石を切り出し、VSM にて磁気測定を行ったところ、Br : 11.8 kG、iHc : 15 kOe、配向度 87% であった。磁石の上下 3 mm ではリング磁石の中心軸とラジアル異方性付与方向とのなす角度が上は 120°、下は 60° であった。実施例 1 と同一形状に磁石を加工し、この磁石を実施例 1 と同様モータ特性を測定した。

40

【0047】

比較例 2 として、金型形状及びコア材質は実施例 1 と同じとし、ダイス材質は飽和磁束密度 15 kG の SKD11 材を用いた垂直磁場垂直成形装置を使い、磁石粉の充填率は 28% として、上下のコイルより 3 kOe のパルス磁場を対向するように印加した。その後 300 kgf/cm² の成形圧にて成形した。成形体は Ar ガス中 1090°C で 1 時間焼結を行い、引き続き 490°C で 1 時間の熱処理を行った。このようにして得られたラジアル磁石は、 $\phi 25.8\text{ mm} \times \phi 19.5\text{ mm} \times L 27\text{ mm}$ で平均の L 寸/内径 = 1.4 で、磁石中央部磁場方向から 2 mm 角の磁石を切り出し、VSM にて磁気測定を行ったとこ

50

ろ、 $B_r : 9.5 \text{ kG}$ 、 $iH_c : 16 \text{ kOe}$ 、配向度 70% であった。実施例 1 と同一形状に磁石を加工し、モータ特性を測定した。

【0048】

比較例 3 として、実施例 1 と同じ成形条件で 4 kOe の磁場で配向させ、その後は同一とせず、回転させずにそのまま磁界中 500 kgf/cm² の成形圧にて成形した。成形体は Ar ガス中 1090°C で 1 時間焼結を行い、引き続き 490°C で 1 時間の熱処理を行った。このようにして得られたラジアル磁石 $\phi 26 \text{ mm} \times \phi 19 \text{ mm} \times L 27 \text{ mm}$ (L 寸 / 内径 = 1.4) で、磁石中央部磁場方向から 2 mm 角の磁石を切り出し、VSM にて磁気測定を行ったところ、 $B_r : 12.3 \text{ kG}$ 、 $iH_c : 15 \text{ kOe}$ 、配向度 90% であった。次に磁石中央部磁場方向からリング中心軸垂直面上 90° ずれた方向より同形状の 2 mm 角の磁石を切り出し、磁気測定を行ったところ、 $B_r : 2.5 \text{ kG}$ 、 $iH_c : 15.8 \text{ kOe}$ 、配向度 18% であった。実施例 1 と同一形状に磁石を加工し、モータ特性を測定した。

10

これらの結果を表 1 に示す。

【0049】

【表 1】

	誘起電圧（実効値） [mV/rpm]	トルクリップル [mNm]
実施例 1	15.7	6.7
実施例 2	15.8	6.7
実施例 3	15.6	6.6
実施例 4	15.3	6.5
比較例 1	13.2	8.4
比較例 2	9.5	5.9
比較例 3	11.8	6.3

20

【0050】

30

表 1 より、比較例に対し実施例ではトルクに相応する誘起電圧が大きく改善されており、本発明がモータ用磁石の製造方法として優れた方法であることがわかる。

また、図 8 は実施例 1、図 9 は比較例 3 の着磁後のロータ磁石の表面磁束を測定したものである。実施例は比較例に対し各極が均一化しており、かつ極の面積が大きくなっている。実施例は大きな磁場を均一に発生できることがわかる。

【図面の簡単な説明】

【0051】

40

【図 1】ラジアル異方性円筒磁石を製造する際に使用する従来の垂直磁場垂直成形装置を示す説明図であり、(a) は縦断面図、(b) は (a) 図における A-A' 線断面図である。

【図 2】リング磁石の中心軸に対する種々のラジアル異方性付与方向の角度を示す説明図である。

【図 3】円筒磁石を製造する際に使用する水平磁場垂直成形装置の一実施例を示す説明図であり、(a) は平面図、(b) は縦断面図である。

【図 4】円筒磁石を製造する際に使用する水平磁場垂直成形装置で磁場発生時の磁力線の様子を模式的に示す説明図であり、(a) は本発明に係る成形装置の場合、(b) は従来の成形装置の場合である。

【図 5】円筒磁石を製造する際に使用する成形装置で、回転式水平磁場垂直成形装置の一例を示す説明図である。

【図 6】着磁機を用いて円筒磁石の着磁を行う様子を示す着磁模式図である。

50

【図 7】6 極に多極着磁した円筒磁石と 9 個のステータ歯を組み合わせた 3 相モータの平面図を示したものである。

【図 8】本発明に係る水平磁場垂直成形機により作製した Nd - Fe - B 系円筒磁石に 6 極着磁を行った際の表面磁束密度を示した図である。

【図 9】従来の水平磁場垂直成形機により作製した Nd - Fe - B 系円筒磁石に 6 極着磁を行った際の表面磁束密度を示した図である。

【符号の説明】

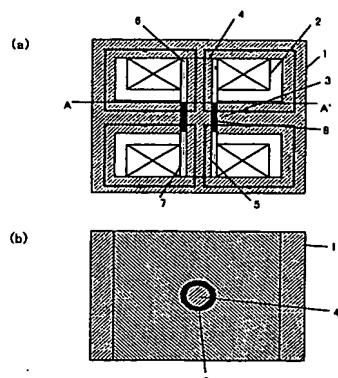
【0052】

- 1 成形機架台
- 2 配向磁場コイル
- 3 ダイス
- 5 a コア
- 6 上パンチ
- 7 下パンチ
- 8 充填磁石粉
- 9 ポールピース
- 1 1 円筒磁石
- 2 0 着磁機
- 2 1 着磁機磁極歯
- 2 2 着磁機コイル
- 3 0 3 相モータ
- 3 1 ステータ歯
- 3 2 コイル

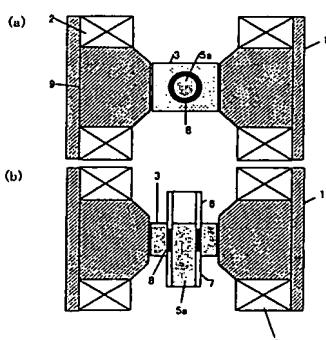
10

20

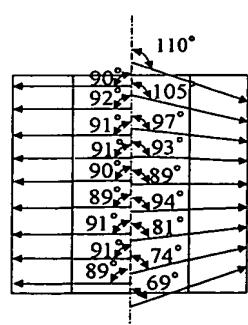
【図 1】



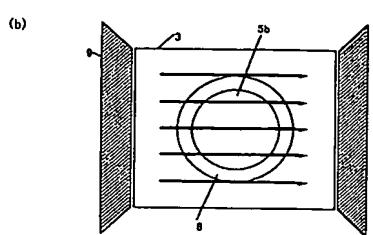
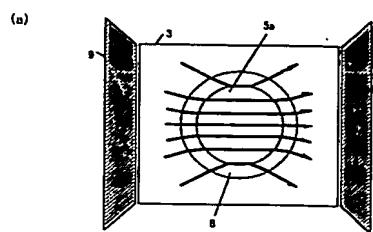
【図 3】



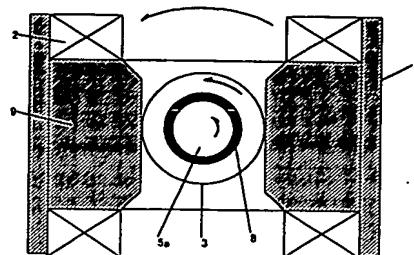
【図 2】



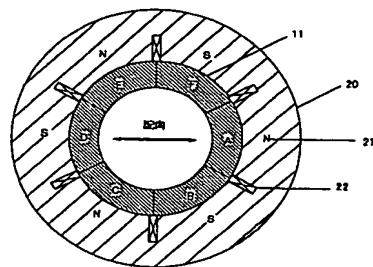
【図 4】



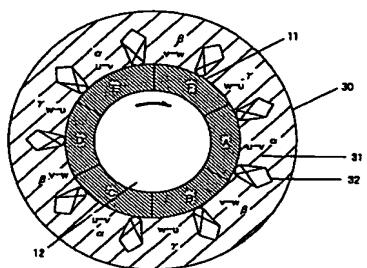
【図 5】



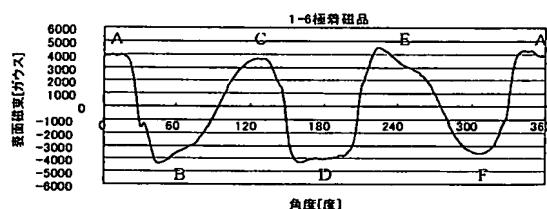
【図 6】



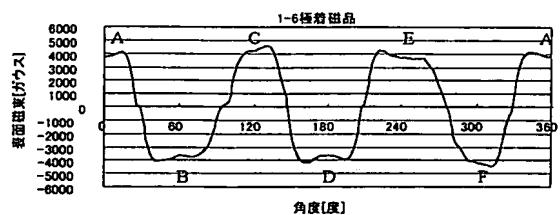
【図 7】



【図 9】



【図 8】



フロントページの続き

(72)発明者 美濃輪 武久

福井県武生市北府2-1-5 信越化学工業株式会社磁性材料研究所内

F ターム(参考) 5E062 CC02 CF01 CF03